

Neue Wege zur Windenergie

Franz Xaver Wortmann

In den meisten Industriestaaten werden heute Anstrengungen unternommen, um klären, ob man nicht auch den Wind als eine Energiequelle erschließen kann. Natürlich stößt man sofort auf die Argumente, der Wind sei zu teuer, zu unzuverlässig und könne, gemessen an unseren Bedürfnissen, nur einen verschwindend geringen Beitrag liefern. Man muß zugeben, daß ein wirklich überzeugender Gegenbeweis im Augenblick nicht möglich ist. Andererseits haben in der Vergangenheit allenfalls einzelne Pioniere Prototypen verwirklicht, die sich nie auf eine breite und längerfristig angelegte Grundlagenforschung stützen konnten.

Wie sehr hier noch alles offen ist und wieviel noch zu tun bleibt, soll an einer speziellen Entwicklung dargestellt werden, die an der Universität Stuttgart von einer kleinen Arbeitsgruppe geleistet wird, die sich mit dem Thema der Windenergienutzung auseinandersetzt.

Warum ist es so schwierig, den Wind als Energielieferanten einzufangen? Weil die Energiedichte so gering ist? Das ist nur bedingt richtig, denn wenn man die Rotorfläche einer Windturbine als ‚Erntefläche‘ ansieht, kann man damit mehr gewinnen als z. B. bei photovoltaischer Nutzung der Sonne. Die meteorologischen Daten versprechen zusammen mit den entsprechenden Wirkungsgraden etwa folgende Werte:

Sonne in Mitteleuropa:	0,1 MWh/m ² · a
Wind im Binnenland:	0,1 MWh/m ² · a
Wind im Küstenbereich in Bodennähe:	0,4 MWh/m ² · a
Wind im Küstenbereich in 100 m Höhe:	1,6 MWh/m ² · a.

Hier soll jedoch nicht das in diesen Zahlen steckende Mengenproblem oder die Verfügbarkeit diskutiert werden, weil daraus sekundäre Fragen werden, sobald man erst einmal die Kosten dieser Art Energiegewinnung so weit gesenkt hat, daß konventionelle Energieformen unterboten werden können.

Eine Windturbine ist jahraus, jahrein jedem Wetter ausgesetzt und muß gelegentlich, anders als andere Energiewandler, einer nahezu unbegrenzten Energiezufuhr standhalten, denn bei Sturm kann die Windleistung mehr als das Zweihundertfache der Nennleistung erreichen. Das Zerstörungspotential der Naturgewalt „Wind“ ist also, verglichen mit der normalen Solleistung einer Windturbine, extrem hoch, und entsprechend hoch sollte die langfristige Zuverlässigkeit der Regel- und Sicherheitseinrichtungen sein.

Hinzu kommt als weitere Schwierigkeit die unablässige Turbulenz des Windes, die zu ständigen Wechsellasten und damit zu Materialermüdung führt. Andererseits muß die Lebensdauer einer Windturbine möglichst hundertmal größer sein als z. B. die eines Automobils. Jedoch sollten dabei die Kosten je Masseneinheit tunlichst in ähnlicher Höhe bleiben.

Damit ist die eigentliche Herausforderung umrissen: kann man überhaupt erwarten, unter solchen ungewohnten Randbedingungen Lösungen zu finden, die dem Problem technisch und wirtschaftlich gerecht werden?

Dazu einige grundsätzliche Gedanken: bei Windturbinen hat man in der Vergangenheit immer wieder versucht, die Konstruktion möglichst steif und fest zu machen. Es darf inzwischen als sicher gelten, daß auf diesem Weg nicht die technische und erst recht nicht die wirtschaftliche Seite des Problems gelöst werden kann. Automobile werden heute ja auch nicht mehr mit Vollgummireifen und ungefederten Achsen gebaut. Oder, um ein anderes Beispiel der Anpassung zu geben: ein Grashalm, ein Baum oder ein Sturmvogel überleben nicht durch unangemessenen Materialaufwand, sondern durch beherrschte Nachgiebigkeit.

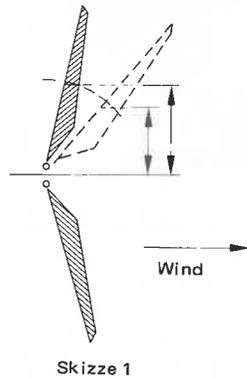
Setzen wir für das folgende einmal voraus, daß im stationären Fall die Belastungen bekannt und die Aerodynamik des Rotors geklärt seien, und daß das System keine Instabilitäten entwickle. Dann kann man die Windturbine in einer etwas verkürzten Perspektive als selbst- und fremderregtes gekoppeltes Schwingungssystem mit mehreren Freiheitsgraden ansehen.

Das Hauptaugenmerk muß dabei auf die Fremderregung durch die Turbulenz des Windes gelegt werden, weil sie insbesondere bei höheren Windgeschwindigkeiten alles andere überwiegt.

Die Kernfrage lautet also: wie kann man, beim Rotor beginnend, die Böigkeit ausfiltern, damit der Rest der Anlage davon möglichst wenig erfährt?

Damit ist zunächst ein Ziel, aber leider noch kein Hinweis gegeben, wie eine technische Lösung aussehen könnte. Einige Beispiele, die Ansätze einer Lösung enthalten, sollen im folgenden skizziert werden.

Bereits 1940 wurde in den USA die 1,2 MW Windturbine von Smith-Putnam [1] in Betrieb genommen. Der zweiblättrige Rotor hatte die bemerkenswerte Eigenschaft, daß jedes Blatt eine individuelle Schlagfreiheit besaß und einzeln einer Böe ausweichen konnte, vgl. Skizze 1. Dennoch erwies sich die Maschine im Betrieb als relativ 'rauh'.



Es läßt sich zeigen, daß der Rotor dann tatsächlich starke Böen ausgleichen kann. Abbildung 1 gibt Meßergebnisse wieder, die an einer Serie von Konfigurationen eines Modellrotors gewonnen wurden. Gemessen wurden hier das tangential Rotormoment oder das Nutzmoment, und zwar einmal in einem ungestörten und dann in einem stark gestörten Luftstrom.

Obwohl die Filterwirkung eines Rotors mit Schwenkfreiheit (Diagramm unten

rechts in Abbildung 1) erstaunlich ist, führte ein entsprechender Vorschlag [2] in eine Sackgasse: der mechanische Aufwand eines derartigen Rotors ist zu hoch, und zusätzlich treten hochgradige Instabilitäten (Bodenresonanz) auf, deren Beherrschung noch weiteren Aufwand erfordert.

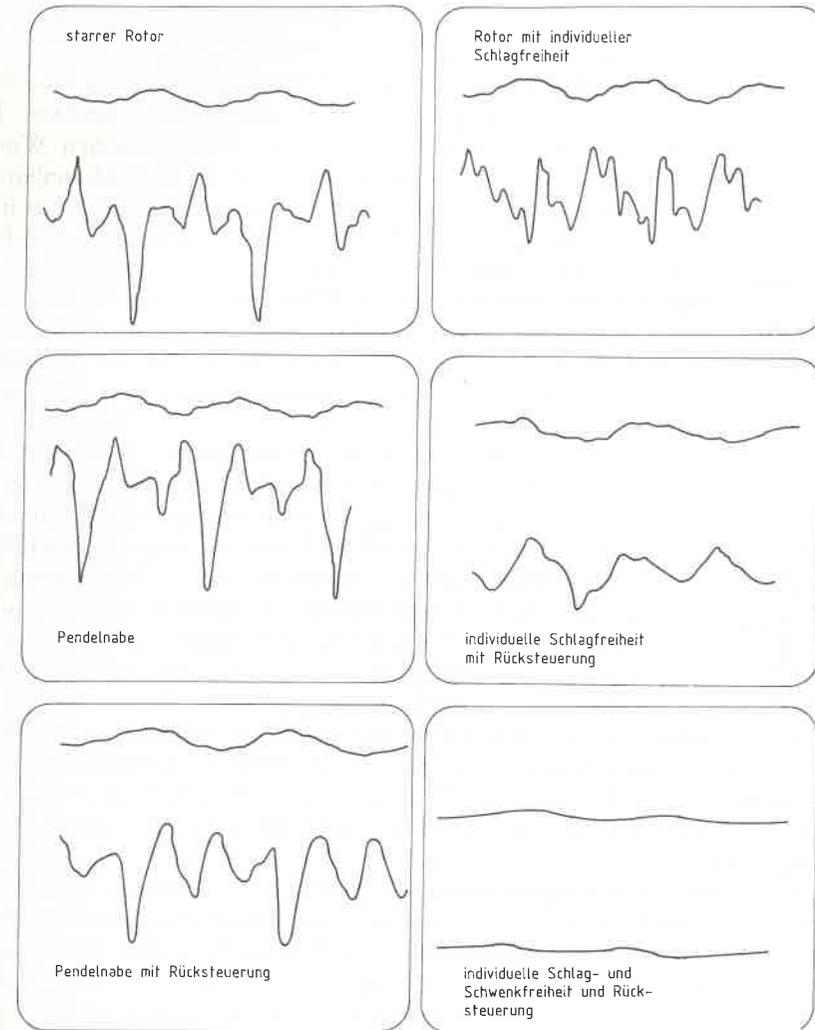
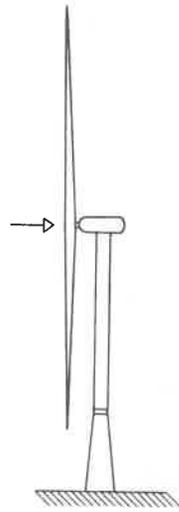


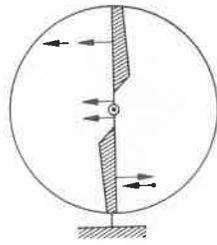
Abbildung 1. Zweiblättrrotormodell, Tangentialmoment eines Blattes bei verschiedenen Konfigurationen. Obere Kurven: ungestörte Anströmung, Untere Kurven: gestörte Anströmung



Skizze 2

Einen anderen Weg versucht man derzeit (vgl. Skizze 2) mit den großen amerikanischen Anlagen MOD 2 und MOD 5 (Boeing und General Electric) [3]. Hier ist der Rotor aus einem starren Mittelstück mit zwei drehbaren Außenflügeln zusammengesetzt. Die Außenflügel können durch ein hydraulisches Stellglied dank ihrer geringen Trägheit sehr schnell verstellt werden und zwar einzeln und unabhängig voneinander. Die Stellsignale werden von einem Rechner geliefert, der Informationen verschiedener Fühler und Solldaten verarbeitet.

Dieses Konzept kann Böen weit besser ausgleichen als alle Rotoren, die nur eine gemeinsame Blattverstellung besitzen. Dennoch besitzt es Grenzen, die im Fall einer einfachen Windzunahme mit der Höhe (Windscherung) am ehesten erkennbar sind. Hier erfährt das Blatt in der Höhe eine größere, das Blatt in Bodennähe eine kleinere Luftkraft als im Durchschnitt. Die Differenzen gleichen sich beim Nutzmoment (vgl. Skizze 3) einigermaßen aus, addieren sich aber als Querkräfte an der Rotorwelle zu einer horizontal gerichteten Erregung, die zweimal pro Umlauf auftritt. Will man die Querkrafterregung z. B. durch Steuerung der Außenflügel mildern, muß man die Gleichförmigkeit des Nutzmomentes aufgeben. Rotorsymmetrie allein hilft hier also nicht.



Skizze 3

Sollte man vielleicht einen asymmetrischen Rotor in Betracht ziehen? Das ist zunächst eine abschreckende, aber nicht neue Vorstellung. Schon in den fünfziger Jahren experimentierte R. Bauer [4] mit Einblattrotoren. In den USA hat sich Boeing damit auseinandergesetzt [5], bevor man sich für das MOD 2 Konzept entschied. Auch aus Holland und England sind Versuche in dieser Richtung bekanntgeworden, aber es sieht ganz so aus, als ob man mit der Asymmetrie nicht glücklich geworden wäre.

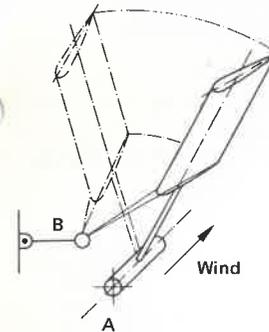
Im Gegensatz dazu sind wir aber der Meinung, daß der asymmetrische Einblattrotor — geeignete Entkopplung von Rotor und Turm vorausgesetzt — wahrscheinlich das einzige Konzept ist, das sowohl in technischer als auch in wirtschaftlicher Hinsicht zu einer überlegenen Lösung führt. Soviel Optimismus muß begründet werden:

Wenn man bislang vorwiegend symmetrische Rotoren bevorzugt, steht dahinter die Auffassung, der Wind ströme ‚im wesentlichen‘ gleichförmig durch die Rotorebene. Unter dieser allerdings unrealistischen Bedingung bietet die Symmetrie Vorteile. Man kann aber auch die entgegengesetzte Ansicht vertreten und davon ausgehen, daß der Rotor in erster Linie die hochturbulenten Böen ausfiltern sollte. Das ist wichtiger, aber auch schwieriger, als mit den relativ harmlosen Ungleichförmigkeiten fertig zu werden, die eine Asymmetrie mit sich bringt.

Daß man mit einem Einblattrotor, der Schlagfreiheit besitzen soll, Böen leichter ausgleichen kann als mit einem konventionellen Zweiblattrotor, erklärt sich schon aus der unterschiedlichen Trägheit: das Gegengewicht besitzt nur etwa die halbe

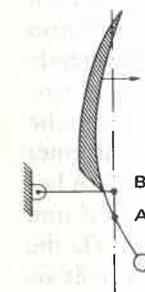
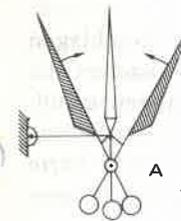
Trägheit eines zweiten Blattes. Auch wirken auf das Gegengewicht keine aerodynamische Dämpfung oder eigene Luftkräfte wie auf ein zweites Blatt. Es ist auch kein Rechner erforderlich, um bestimmte Steuerungskompromisse zu schließen und Stellglieder zu betätigen. Das einzige vorhandene Blatt braucht auch nur für sich allein zu sorgen, und das gelingt schon weitgehend mit einer sehr einfachen Selbststeuerung.

Das hier angesprochene Prinzip ist seit langem im Hubschrauberbau als δ_3 -Rücksteuerung bekannt und in Skizze 4 erläutert. Das Rotorblatt habe die Freiheit, sich gleichzeitig sowohl um die Schlag- als auch um die Blattachse bewegen zu können. Der Einfachheit halber sei die Windrichtung parallel zur Schlagachse A. Durch einen blattfesten Punkt B, der außerhalb der Schlag- und Blattachse durch eine gelenkige Steuerstange festgehalten wird, kann man beide Bewegungen koppeln. Ganz ähnlich wie bei einer Windfahne wird nun die die Schlagbewegung auslösende Luftkraft durch die Blattwinkeländerung abgebaut. Diese Selbststeuerung ist bei einem Rotor schnell genug, um bereits nach etwa einem Zehntel eines Umlaufs einen neuen Gleichgewichtszustand zu erreichen.



Skizze 4

Allerdings geht gleichzeitig die aerodynamische Schlagdämpfung zurück, und das kann im Fall eines Einblattrotors leicht zu einer katastrophalen Instabilität führen. Die Physik dieser Instabilität ist in Skizze 5 erläutert, und zwar für den einfacheren Fall, daß das Blatt mit Rücksteuerung in einer Strömung senkrecht zur Zeichenebene hin und her pendelt, also nicht rotiert. Die obere Hälfte zeigt die Bewegung eines starren Blattes, das unter dem Einfluß der Rücksteuerung eine stabile Lage in der Mitte anstrebt. In der unteren Hälfte der Skizze ist ein biegeelastisches Blatt mit Rücksteuerung gezeichnet, bei dem die Steuerung des Innenflügels nicht mehr in Phase ist mit der Position des Außenflügels. Beim Durchgang der Flügelspitze durch die Mittellage kehrt sich das Vorzeichen der Luftkraft nicht um, sondern bleibt in gleicher Richtung wie die Bewegung. Die Pendelschwingung erhält so eine Energiezufuhr aus der Anströmung, die nach wenigen Schwingungen über alle Grenzen wächst. Zur Abhilfe muß man den Flügel genügend steif bauen. Seine Grundbiegefrequenz muß in Abhängigkeit vom Rücksteuermaß, der Blattgeometrie und der Massenverteilung ein bestimmtes Vielfaches (Cauchyzahl) der Rotordrehfrequenz erreichen.



Skizze 5

Diese Steifigkeitsforderung läßt sich sinnvoll durch eine zweite ergänzen: wenn der Rotor auch in Schwenkrichtung, also in der Rotorebene, sehr steif ist, bleibt der Massenschwerpunkt immer in der Rotorachse, und die heikle ‚Bodenresonanz‘ wird vermieden.

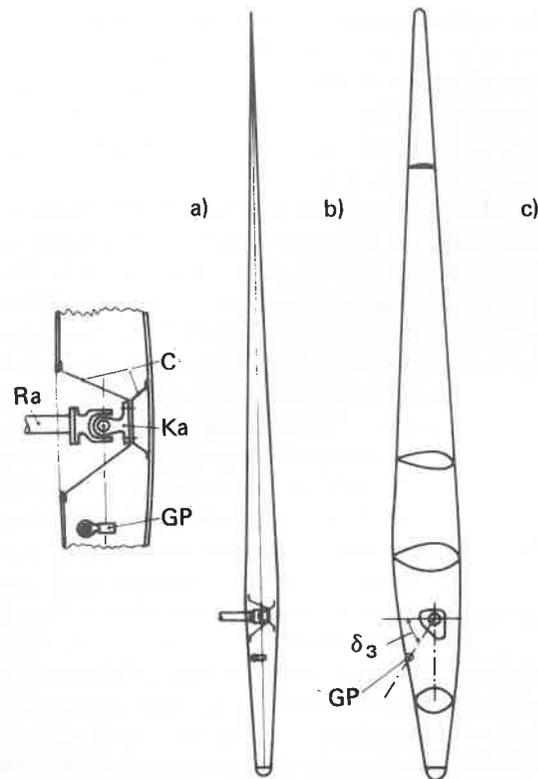
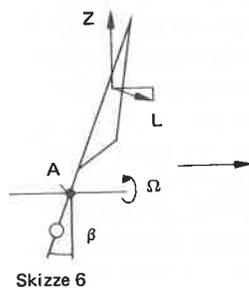


Abbildung 2. Einblattrotor mit Innenkardan

Abbildung 2 zeigt die Geometrie eines Einblattrotors, wie er hier vorgeschlagen wird. Die relativ großen Abmessungen im Bereich der Rotorachse machen die Leichtigkeit verständlich, mit der die genannten Steifigkeitsforderungen erfüllt werden können. Das Zusammenwirken der gelenkigen Lagerung mit der Selbststeuerung bei geringer Trägheit erlaubt es dem Einblattrotor, selbst sehr harte Böen schon weitgehend abzufangen. Man darf ihn also als ein erstes wirksames Filter ansehen.

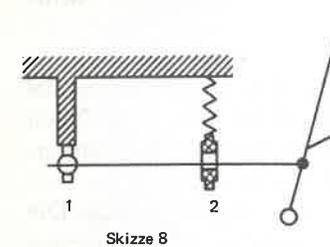


Skizze 6

Setzt man den Rotor jedoch in eine ideal gleichförmige Anströmung, werden die aerodynamischen Asymmetrien bemerkbar, die ebenso wie die Restwirkungen der Böen durch eine nachfolgende zweite Filterung abgefangen werden müssen. Das gelingt nur stufenweise. Werfen wir einen Blick auf die aerodynamische Unwucht. Die nebenstehende Skizze 6 soll den Fall einer idealen Anströmung darstellen. Das um die Schlagachse A bewegliche Blatt nimmt unter dem Einfluß der Fliehkraft Z und der Luftkraft L einen bestimmten Schlagwinkel β an. Da die Luftkraft L senkrecht auf die Rotoroberfläche wirkt, läßt sie sich zerlegen in eine axiale Zug- oder Schubkomponente, in

eine tangentielle Querkraft, die das Nutzmoment liefert, und eine radiale Querkraft.

Die beiden Querkräfte summieren sich zu einer mit der Drehzahl umlaufenden Unwucht. (Ein Anteil aus dem Nutzmoment sei vernachlässigt). Der Verlauf des Unwuchtvektors relativ zum Rotor ist in Skizze 7 für verschiedene Windgeschwindigkeiten W/W_n angegeben (W_n = Nennwind). Bei starrer Lagerung übertragen die Querkräfte auf den Turmkopf, das Gierlager und den Turm beträchtliche periodische Kräfte und Momente. Durch eine weiche Lagerung der Rotorachse — mit einer Eigenfrequenz deutlich unter der Rotorfrequenz — wird bereits ein Großteil der Querkräfte durch die Massenträgheit des Rotors abgefangen (vgl. [4]).



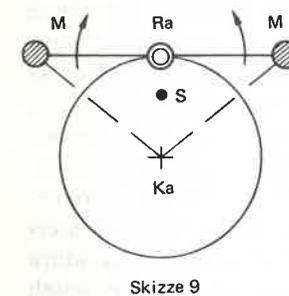
Skizze 7

Skizze 8 zeigt eine mögliche Form einer derartigen Lagerung. Das Pendellager 1 ist fest mit dem Turmkopf verbunden, während das Lager 2 vereinfacht im Schwerpunkt von Rotor und Rotorachse angreifen soll und elastisch im Turmkopf aufgehängt ist.

Unter dem Einfluß der aerodynamischen Unwucht rotiert die Rotorachse und damit der Schwerpunkt der Rotormasse auf einem Kegelmantel. Über beide Lager werden also noch Restkräfte übertragen, die der Erregung proportional sind und mit Turm und Turmkopf koppeln können. Das kann sowohl bei variabler Drehzahl als auch bei Starkwind leicht zu heiklen Wechselwirkungen führen. Eine weitergehende Entkopplung ist deshalb äußerst wichtig.

Glücklicherweise bietet eine überkritisch gelagerte Rotorwelle eine überraschend einfache Möglichkeit, die Kegelbewegung der Rotorachse völlig zu unterdrücken. Wenn man vorübergehend die aerodynamische durch eine Massenunwucht ersetzt, kann man die Situation durch Skizze 9 erklären. Die Rotorachse Ra beschreibt unter dem Einfluß des exzentrisch liegenden Schwerpunktes S einen Kegelmantel um die Kegelachse Ka.

Dabei liegt der Schwerpunkt S immer zwischen Ka und Ra. Wenn man jetzt zwei frei drehbar gelagerte Ausgleichsmassen M auf die Rotorachse bringt, bleiben sie nicht in der gezeichneten Stellung, sondern wandern durch die von Ka ausstrahlende Fliehbeschleunigung auf die Außenseite von Ra. Der Gesamtschwerpunkt wandert also auch in Richtung Rotorachse. Dadurch werden die Unwucht und damit die Kegelbewegung kleiner, bis schließlich Ra und Ka zusammenfallen und damit der Anlaß für eine weitere Verstellung der Ausgleichsgewichte entfällt. Die Welle wuchtet sich automatisch aus, und zwar auch



Skizze 9

dann, wenn die auslösende Unwucht, wie in Skizze 7, nach Größe und Richtung variabel ist.

Diese elegante Möglichkeit gilt allerdings nur für stationäre Verhältnisse. Wenn der Rotor höherfrequente Anregungen oder gar Stöße erhält — das ist beim Lee-läufer regelmäßig beim Durchhang des Rotorblattes durch den Turmnachlauf der Fall — können die Ausgleichsmassen sich nicht schnell genug auf neue Zustände einstellen. Ihre Wirkung bleibt statisch.

Eine stoßartige Kraft auf den Rotor wirkt sich in Skizze 8 vor allem auf das Lager 1 aus. Wenn man die Lagerstelle 1 auf der Achse verschiebt, ändert man die Größe der Stoßkräfte. Es gibt sogar einen Punkt, das sogenannte Stoßzentrum, in dem von den Querkraftstößen in der Rotorebene nichts mehr übertragen wird.

Das ist nicht so verblüffend, wie es scheint, man denke nur an einen Hammer. Die außerordentlichen Stoßkräfte sind kaum spürbar, es sei denn man trifft mit dem Stiel. Durch die gleichzeitige Anwendung aller drei Prinzipien gelingt es, die gesamte Querkrafterregung eines Rotors in nahezu perfekter Weise von Turmkopf zu isolieren.

Das hat eine ganze Reihe wichtiger Folgerungen. Zunächst ist klar, daß die Hauptlager der Rotorachse im wesentlichen nur noch die stationären Lasten aus Schub und Gewicht zu tragen haben, was ihre Lebensdauer steigern wird. Noch wichtiger ist die Verminderung der gegenseitigen Wechselwirkungen der zahlreichen Schwingungsmöglichkeiten, die das Gesamtsystem bietet.

Man braucht auch den Turm nicht mehr steif zu bauen, Festigkeit genügt. Die erwähnte Selbststeuerung des Rotors gestattet es auch, den Rotor selbst schnellen Richtungsänderungen des Windes auszusetzen, weil alle Kreisel- oder Trägheitskräfte durch Luftkräfte überspielt werden. Man braucht deshalb auch keine Giersteuerung für die Windrichtungssteuerung mehr, wenn der Rotor gierstabil auf der Leeseite des Turms läuft.

Es bleibt noch die Aufgabe, das Nutzmoment zu glätten. Wichtig ist das vor allem dann, wenn die Turbine in ein elektrisches Netz einspeisen soll. Hier sind für den windgetriebenen Generator Drehzahl, Spannung und Phasenlage vorgegeben, und Windvariationen werden, wenn nicht besondere und teure Vorkehrungen getroffen sind, als Leistungsstöße an das Netz weitergegeben.

Selbst bei einer aktiven Aussteuerung wie im Fall der MOD 2-Anlage kann man nur zwischen zwei Übeln wählen: Querkrafterregung oder Momentenschwankung. Diese Anlage besitzt deshalb auch eine gewisse Drehelastizität in der Rotorwelle. Das gleiche Prinzip läßt sich mit Vorteil noch wesentlich erweitern, wenn man zwischen Rotorwelle und Generator einen regelrechten drehelastischen Kurzzeitspeicher schaltet. Dabei sollte der Momentenanstieg so langsam erfolgen, daß das Nennmoment erst nach einer oder gar mehreren Umdrehungen erreicht wird. Eine derartige Anordnung, die wir im Modellversuch bereits erfolgreich erproben konnten, kann nicht nur alle schnellen Böen mühelos wegfiltern, sondern erleichtert auch das Synchronisieren. Ganz ähnlich wie bei den Querkraften spielt es jetzt gar keine Rolle mehr, ob der Rotor symmetrisch ist oder nicht: man darf zur einfachsten Bauart greifen.

Nur am Rande sei vermerkt, daß Schwenkschwingungen ganz ähnlich wie

„Whirl“schwingungen nur schwach instabil werden können und mit einer geringen Dämpfung immer zu beherrschen sind.

Nach diesem Ausflug in die Dynamik, der einige neue Perspektiven eröffnet, nochmals zurück zum Einblattrotor. Da das Gegengewicht keine aerodynamische Funktion hat, kann man es in die Blattwinkelverstellung mit einbeziehen. Mit anderen Worten, die Blattschale kann als ununterbrochene Schale vom Gegengewicht bis zur Blattspitze durchlaufen, s. Abbildung 2. Auch eine Taillierung im Achsbereich läßt sich vermeiden, wenn man die Lagerung der Schlagachse und der Blattwinkelachse in das Innere der Schale verlegt. Dazu eignet sich ein handelsübliches Kardanlager, das beide Lagerfunktionen vereinigt. Diese einfache Lagerlösung ist deshalb möglich, weil nicht das Lager, sondern die Blattstruktur die großen Fliehkräfte, Schwere- und Schlagmomente ertragen muß. Auch ist die Geometrie des Blattes vom Größenmaßstab praktisch unabhängig, und es liegt auf der Hand, daß ein solches Blatt sich leichter vergrößern und gleichzeitig ermüdungssicherer bauen läßt als jede andere Konstruktion. Die geringen Belastungen und Abmessungen der Rotorlagerung haben in Zusammenhang mit den oben beschriebenen Entkoppelungsmöglichkeiten noch einen zunächst versteckten Vorzug, der bei der Regelung des Rotors zum Tragen kommt.

Wie bereits erwähnt, muß die Regelung wegen des außerordentlichen Zerstörungspotentials starker Winde auch langfristig besonders zuverlässig sein. Üblicherweise wird eine Regelung so aufgebaut, daß die Regelgröße von einem Fühler überwacht wird und die Abweichung vom Sollwert über einen Verstärker zu einem Stellglied führt, das den Blattwinkel ändert.

Wenn man den gleichen Vorgang mit direkten mechanischen Mitteln ohne Hilfsenergie lösen will, stößt man auf zwei wesentliche Schwierigkeiten: meistens sind die Stellkräfte z. B. von Fliehkraftmassen zu gering, um die Dominanz der Regelung gegenüber entgegenwirkenden Kräften sicherzustellen, die vor allem aus Coulombscher Reibung entstehen können. Beim Rotor in Abbildung 2 bieten die kleinen Reibradien und die geringen Belastungen des Innenkardans gute Voraussetzungen für eine mechanische Regelung.

Abbildung 3 zeigt das Holzmodell eines Fliehkraftreglers, dessen Ausschlag über die Steuerstange zur Blattverstellung führt.

Die zweite Schwierigkeit liegt darin, daß sich mechanische Regler im allgemeinen mehr für einfache und weniger anspruchsvolle Regelfunktionen eignen. Glücklicherweise sind die Anforderungen an den Regler durch die starke Entkopplung von Rotor und Generator im Kurzzeitspeicher und durch die schnelle Selbststeuerung des Rotors nicht groß. Ein einfacher — das heißt langsamer — Integralregler genügt.

Abbildung 4 zeigt die Regelqualität eines solchen Reglers mit Rotorselbststeuerung, aber ohne Kurzzeitspeicher, in einem weiten Bereich oberhalb der Nenngeschwindigkeit. Selbst bei heftigen Böen bleibt der Regler stabil und hält die maximalen Drehzahlabweichungen unter $\pm 6\%$.

Neuere Versuche lassen erkennen, daß der gleiche mechanische Regler mit ganz ähnlicher Qualität auch dazu genutzt werden kann, die Leistung des Rotors zu steuern, wenn der Rotor synchron in ein Netz einspeist.

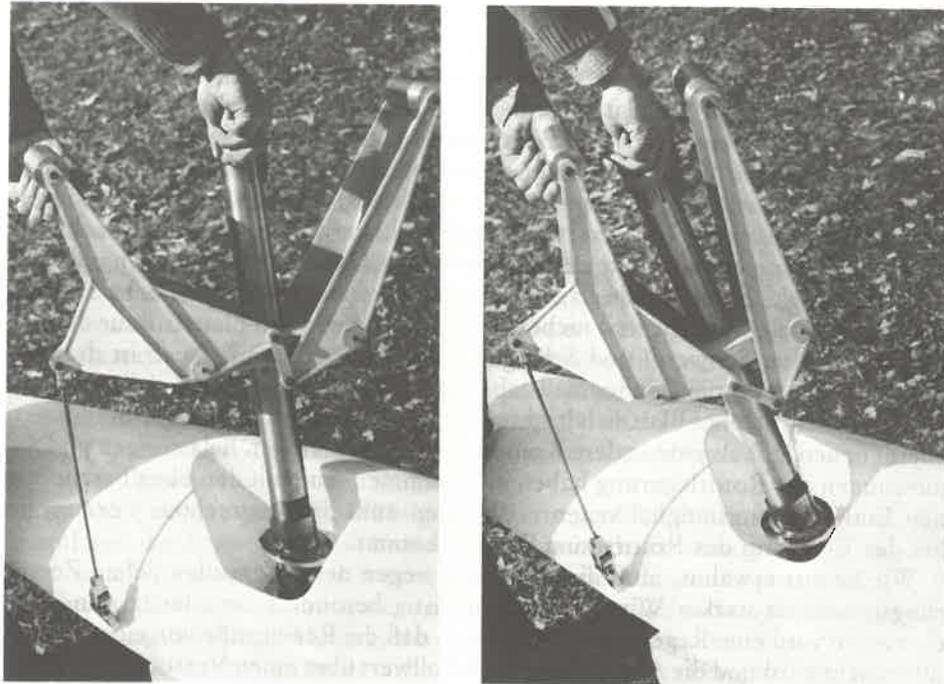


Abbildung 3. Holzmodell des mechanischen Reglers

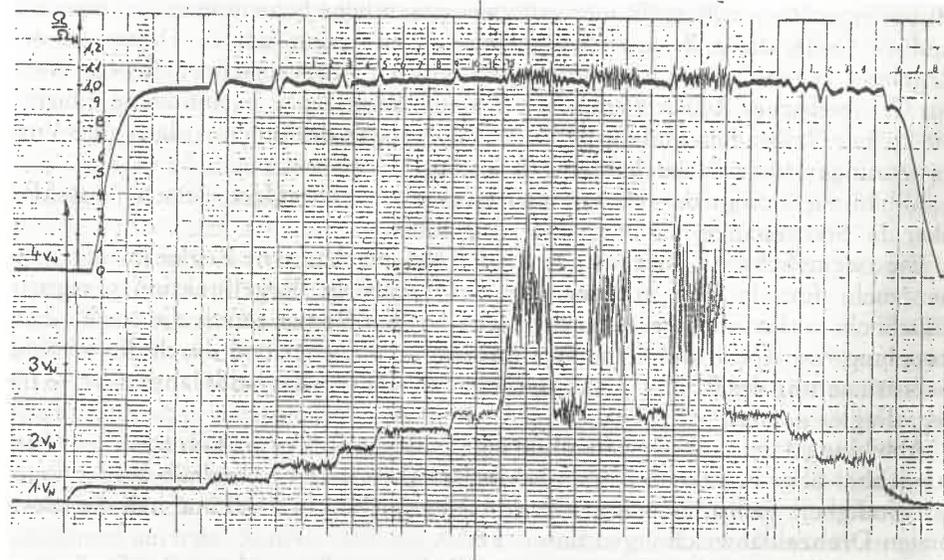


Abbildung 4. Mechanischer Drehzahlregler bei vielfachem Nennwind, Nachweis der Regelfunktion, Nachweis der Stabilität bei starken Böen. Zeitmaßstab 6 sec pro Teilung.

Zusammenfassend darf man vielleicht feststellen, daß die entwickelten Vorstellungen sicher neue Wege zur wirtschaftlichen Nutzung der Windenergie eröffnen, aber auch nur einen ersten Schritt dazu darstellen. Noch ist die Erfahrungsbasis schmal. Um sie zu verbreitern, wollen wir einerseits Windturbinen mäßiger Größe im Freien erproben (Abbildungen 5 und 6 zeigen eine erste Anlage mit acht Meter Durchmesser, die für Schwingungsuntersuchungen vorbereitet wird), andererseits muß die Fülle noch offener Fragen durch weiter verbesserte theoretische, numerische und experimentelle Arbeiten Schritt für Schritt vermindert werden. Ein besonders wertvolles Instrument wird in diesem Zusammenhang ein Böengenerator werden, der dank der finanziellen Unterstützung des BMFT zur Zeit im Bau ist [6]. Dabei handelt es sich um einen großen Windkanal für niedrige Geschwindigkeiten, der — weltweit zum ersten Mal — speziell auf die Bedürfnisse der Windturbinentechnik zugeschnitten ist.

Aber Instrumente allein genügen nicht. Phantasie, Ideen und Einfälle sind hier ebenso notwendig wie immer in der Forschung. Hier bin ich auch meinen jüngeren Mitarbeitern verpflichtet, den Herren S. Mickeler, K. Schultes, M. Mayer,



Abbildung 5. Übersichtsskizze der Einblatt-Turbine „FLAIR“

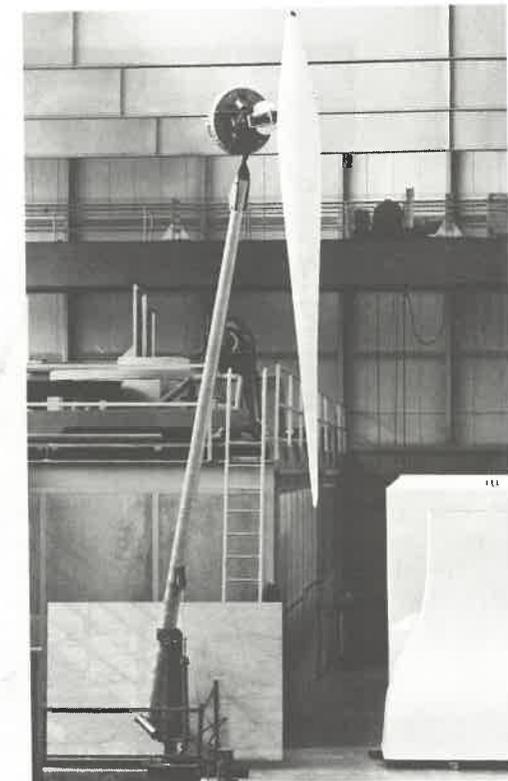


Abbildung 6. Vorbereitung der Schwingungsmessungen an der Einblatt-Turbine „FLAIR 8“

G. Walter und M. Winter, die sich mit dieser anspruchsvollen Aufgabe auseinandersetzen.

Zum Abschluß noch ein kurzer Überblick:

Das BMFT fördert seit Anfang 1977 auch Anstrengungen zur Nutzung der Windenergie. Einen Überblick dazu liefert der Statusbericht der Projektleitung Energieforschung in Jülich (ISN 0344-5798), sowie weitere Berichte der PLE. Die finanziellen Aufwendungen fließen überwiegend in den Bau dreier Windturbinen, in die mittelgroßen Anlagen (~ 300 kW) der Firmen Voith und MBB, sowie in die 3-MW-Anlage „GROWIAN“ der Firma MAN.

Wenn derartige Anlagen marktfähig werden sollen, sind noch beträchtliche Forschungsanstrengungen notwendig. In Stuttgart hat das Thema „Windenergie“ schon Tradition. Hier entstand 1949 die „Studiengesellschaft Windkraft“, mit deren Hilfe U. Hütter 1955/57 die 100 kW-Anlage verwirklichte, die Vorbild für den GROWIAN wurde. Heute widmen sich hier der Windenergie verschiedene Arbeitsgruppen in Instituten der Fakultät Luft- und Raumfahrttechnik sowie in der benachbarten DFVLR. Es gibt inzwischen auch eine vierteljährlich erscheinende Zeitschrift „Windkraft Journal“, die in Eckernförde herausgegeben wird.



Abbildung 7. Entwicklungsstand August 1982

Literatur

- [1] P. C. Putnam
Power from the Wind.
New York, Van Nostrand Comp. Inc. 1948
- [2] F. X. Wortmann
Beschreibung des Konzepts „Schwingende Windturbine“
Institutsbericht 77-18; Stuttgarter Zeitung 13. 2. 78; IEA Abschlußbericht ET 4086 A
- [3] J. P. Couch
MOD-2 Wind Generator Program, III. Wind Energy, Workshop Vol. 1, Washington 1977
- [4] R. Bauer
„Windkraftmaschine“
Patentschrift DBP 877 280 (21. 5. 1953)
- [5] G. S. Doman
The structural and dynamic limits upon the size of very large rotors for wind energy conversion systems.
II. Workshop on Wind Energy Conversion Systems, Washington 1975, Mitre Report.
- [6] F. X. Wortmann, G. Walter
„Ein Böengenerator für Windturbinen“, Institutsbericht 79-6, IEA Abschlußbericht ET 4086 A